

50X1-HUM

Page Denied

Next 2 Page(s) In Document Denied

TRANSLATION (Draft)

TESTING THE USE OF MOLYBDENUM DISULFIDE AS A LUBRICANT

By I. Y. Alzhitz, Y. M. Oparina, L. N. Senturikhina
and L. N. Sooshkina.

To the present day the question of lubricating materials necessary for the points of friction, operating under conditions of high and low temperatures, has not been solved. The solution of this question was impeded especially for such points where hydrodynamic lubrication cannot be guaranteed, i.e., in points operating under conditions of boundary friction. In agreement with literature data for such conditions, it is advisable to employ materials promoting the formation of solid, lubricating film on the surfaces of friction.

According to the classification by Campbell, molybdenite, or MoS_2 , belongs to a group of solid, lubricating materials which have a laminar structure. This group of lubricants also includes graphite, mica, zinc stearate, and others.

The crystalline lattice of solid lubricants has a laminar structure. The atoms in each layer are linked by strong, chemical bonds, but separate layers are linked by weak molecular forces. This permits easy sliding of the layers along the plane surface of cleavage AA (Fig. #1).

The thickness of the elementary layer of MoS_2 is equal to 6.25 Å. The high adhesion of MoS_2 to metals depends on the solid molecular bonds of the atoms of sulfur with the metal. The structure of the crystalline lattice creates high and low cohesive properties, which are important for lubricating materials.

The effectiveness in the application of molybdenite as a lubricating material is determined by its following basic parameters: nature, degree of purity, dispersability, and methods of application on friction surfaces.

The application of natural molybdenite as a lubricating substance is connected with its purification from accompanying impurities on the whole of an abrasive character and, above all, from silica.

In our work molybdenite of the East Kounrad deposit was used; it was purified by mechanical (crushing, sifting) and chemical (solution of impurities) methods. In the result of purification, the general contents of impurities was reduced to 1.4 - 0.6%.

The dispersion of molybdenite was done with the aid of equipment known as vibro-mill, jet-mill⁽¹⁾, and a homogenizer of the A. N. Institute of Petroleum, Azerbaidzhan, U.S.S.R., and with ultrasound. Furthermore, methods of dry and wet grinding were used.

The dispersion in the vibro-mill permitted us to obtain a product of high, fractional structure, and in the jet-mill products of narrower fractional structure were obtained with particle sizes of 3 - 6 microns.

Obtaining even narrower fractional structure and smaller dimensions is very difficult, owing to their aggregation in the process of dispersing, which is so characteristic for almost all solid substances. The smaller the dimension of the particles, the bigger is their inclination toward aggregation.

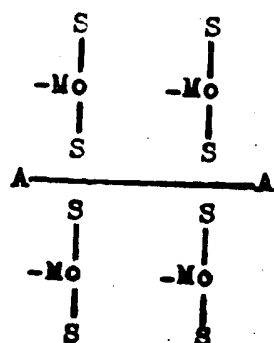


Fig. 1. Polymeric structure of natural molybdenum disulfide.
AA - plane of cleavage

Since the disulfide had to be obtained in the dry form, grinding of MoS_2 was done in solutions: alcohol, toluol, dichloric ethane, water, and other volatile liquids.

Wet grinding was carried out in the homogenizer, represented as a four-disc machine. The homogenizer, similar to the vibro-mill, guaranteed large particles of a highly fractional structure. Smaller particles (1 - 6 microns and less) were obtained by dispersion in a medium of ethyl alcohol with the aid of ultrasound at a frequency of 20 kilo-cycles and an intensity of 7 wt/cm².

With the aid of the shown methods, grinding particles of molybdenite of nearly any given degree of dispersion (for example, 1 - 60 microns and smaller than 1 micron) became possible. The dry films of molybdenite were applied by manually rubbing on a powder, with particle sizes of 1 - 60 microns, and also by immersion of degreased surfaces in a suspension of MoS_2 of different concentration (0.07 - 0.20 g/ml) at room temperature. Furthermore, they were kept in a drying

⁽¹⁾ The grinding was conducted on the vibro-mill under the direction of V. N. Akoonov.

cabinet for three hours at a gradual rise of temperature of up to 350°.

In spite of high adhesive properties of MoS₂, the films obtained by the shown method hardly resisted wear and were easily destroyed by the sliding parts.

One of the methods of raising the anti-wear properties of these films is the application of lubricating substances. The lubricating substances form a film in which molybdenum disulfide is retained; this impedes its removal by rubbing surfaces.

These substances do not fulfill lubricating functions; they have to be applied onto the rubbing surfaces and form films which are firmly linked with the metal.

The following substances were used as lubricants: alcohol ether K-11501, melamine-formaldehyde resin, urea-formaldehyde resin, epoxy, and polyvinyl-butylal resin.

The suspension of MoS₂ and resin was applied in a thin layer onto the surfaces under test. After the evaporation of the solvent the components were put in a drying cabinet and kept there at a temperature of 120° - 250° for 2 - 3 hours, depending on the character of the resin.

The tests of molybdenum disulfide were done on machines, subject to friction, and on semi-industrial installations. The lubricating properties of molybdenum disulfide were examined on friction wear testers, where one determined friction coefficient, durability of the film, anti-wear properties, and the thermal stability. For the tests, MoS₂ was taken in the form of a powder, pastes, and films with lubricating substances.

For comparison, also imported preparations of MoS₂ were tested, so-called Molykotes, and colloidal graphite (in various types) which resembles MoS₂ and is used as a lubricating material.

On the "M-EE" machine (of the Amsler type), tests were carried out on the samples in the form of rollers with a diameter of 40 mm and a width of 10 mm at rolling friction with 10% of sliding. In these tests a selection was made of the lubricating substance (resin), and also the influence of the cleanliness of the surface was determined after phosphating the specimens before application of the films.

-4-

The basic data of the tests were the diagrams of friction obtained with a recording instrument on the machine.

The presence of the MoS₂-film on the surfaces of the rollers during the test was determined by the magnitude of the moment of friction. When the moment of friction had grown to the size of approximately the corresponding friction coefficient, the test was considered finished. The indicated value, $f = 0.3$, corresponds to the friction coefficient of clean, non-lubricated surfaces of the rollers.

The rollers were made of steel 45, hardened to hardness HRC = 48 + 50 (except phosphated ones), with a cleanliness of class VII.

The clean rollers, coated with the films, were functioning in steam.

The durability of the films, formed on the surfaces of the rollers by the MoS₂-powder and by the pastes, was determined in the following manner. For a duration of 30 minutes, the rollers were functioning with continuous lubricant supply (paste or powder), which was carried out of a basin by the lower roller. At a pressure of 3260 kg/cm² (according to Hertz), the lubricant formed a film of MoS₂ on the surface of friction. Later, the lubricant was removed and the rollers were put to the test.

The results of the tests of the films, manufactured on the basis of Molykote "Z", with five different lubricating substances, were given in the chart where, along the axis of the ordinates, the time of film life had to be shown. The tests were carried out under a load of 3260 kg/cm² according to Hertz.

All resins had a friction coefficient between 0.07-0.09. The film, formed by alcohol ether, showed the longest life, an average of 17 hours; while the films with the other lubricants were functioning for 3.5 - 9 hours.

Wear of the balls, covered with films of MoS₂ with melamine-formaldehyde, urea-formaldehyde, and other resins on the 4-Ball Tester⁽¹⁾, was 2.5 - 3 times lower than with a better hypoid lubricant, Tsyatyn-208.

The wear stability of MoS₂-layers depends on their thickness: the thin layer (5 - 7 microns), formed with the aid of melamine-formaldehyde resin, would stand a load 5 to

(1) The tests were carried out under the direction of V. A. Listov.

-5-

Table 1

The influence of different lubricants (resins) on the life of a solid, lubricating film (average data)

Lubricants (Resin)	Melamine- formalde- hyde	Urea- formalde- hyde	Epoxy	Poly- vinyl- butyral	Alcohol ether
Durability of film hours	3.5	5.5	9.5	5.75	17.5

12 times lower than the thicker ones (20 - 30 microns).

A definition of the influence of the cleanliness of the operating surface on the duration of the film was made by us. These surfaces were treated according to classes V, VII, and XI of cleanliness, i.e., the type of their roughness N_{sr} varied within 6.4 - 0.1 microns. Subsequently, films of Molykote "Z" were applied onto the surfaces with alcohol ether K-11501, i.e., with a lubricant giving the longest wear life. The best result was obtained with rollers with the cleanliness of the surface of class V, i.e., with a degree of roughness of $N_{sr} = 6.4$ microns, covered with MoS_2 -films with particles of a magnitude of 1 - 60 microns.

The phosphating of steel increases the life of the film a little (from 4 hours to 5 hours, 30 minutes).

The tests were carried out with films of MoS_2 and graphite formed on the friction surface; they confirmed the data of foreign research workers about the advantages of MoS_2 over graphite under conditions of high specific pressures (see Table 2).

Table 2

The life (in hours) of films formed by lubricants in the form of powders, in dependence from a specific pressure (average data)

Powder	Specific pressure according to Hertz, kg/cm^2	
	3260	8600
Molykote "Z"	6	3.75
Colloidal graphite	22.5	1/60 - 1/20

-6-

At a pressure of 3260 kg/cm², a graphite lubricant functions better than MoS₂ as far as the friction coefficient as well as the life of the film are concerned (for graphite $f \sim 0.06$, and for Molykote "Z" $f \sim 0.14$).

The average life of the graphite film was more than 20 hours, but for the films of Molykote "Z" about 6 hours. Under a pressure of 8600 kg/cm² the picture changes: the friction coefficient in the case of the lubricant with Molykote "Z" is reduced to 0.04 and the film lasts for 3 - 4 hours, but in the case of a graphite lubricant the film does not even last a few minutes and the friction coefficient quickly rises from 0.12 to 0.37.

The tests of the pastes were carried out under a load of 8600 kg/cm², during which the friction coefficient of all pastes was 0.05 - 0.09.

Table 3

The life of the films formed by different pastes
(average data)

Name of Paste	Colloidal Graphite MS	Molykote M-77	Molykote G	Tsyatym 221	VNIINP 225	Tsyatym 221 + 10% MoS ₂
Durability of film, hour	0.17-0.25	1	0.75	0	2	0.5

From Table 3, we can see that the lubricant Tsyatym 221 tested for comparison did not retain any film on the metallic surfaces, capable of functioning under a pressure of 8600 kg/cm², but the film of colloidal graphite MS was functioning for 10 - 15 minutes. The addition of 10% MoS₂ to the lubricant, Tsyatym 221 gave a film which functioned for 20 - 40 minutes. Molykotes M-77 and G were functioning for up to two hours, and the lubricant, VNIINP 225, on the basis of MoS₂ and silicon liquid, was functioning for up to 4 hours. The friction surfaces functioning with the lubricants containing MoS₂ and graphite had a gray, smooth surface. In this way it was established that molybdenum disulfide possesses a high load bearing capacity; however, the life of the film is small and, therefore, it is necessary to constantly renew it. The

-7-

film is restored owing to the supply of lubricant at the points of friction.

The tests on the "M-XX" machine with a low supply of lubricant, containing MoS_2 , revealed the possibility of prolonged life of the film under high pressures. These data were also confirmed by the results of tests. The tests were carried out on ball bearing #8106 at a temperature of 400° ($p = 1000$ revolutions/minute, load $R = 1200$ kg). The duration of normal life of the bearing, onto the running-tracks of which a film of molybdenum disulfide was applied, did not exceed 30 - 60 hours. The life of such a bearing with the lubricant paste on the basis of molybdenum disulfide and of a polysiloxanated liquid under these conditions constituted 50 - 70 hours. Combined use of the film and paste permitted to increase the life 2 - 3 times.

The effectiveness of molybdenum disulfide as a protective means against fretting corrosion (1). The test consisted of finding a protection against fretting corrosion for flat surfaces under oscillating motion of up to 1 mm and a specific pressure of up to 500 kg/cm^2 . The phosphated and non-phosphated surfaces were put to the test, the friction areas having the shape of a hoop.

Without the lubricant, the phosphated films were destroyed in the first minutes. The test of such films, with molybdenum paste "G", was carried out under a pressure of 250 kg/cm^2 , an amplitude of 0.524 mm, and a frequency of 112 cycles per minute. The films lasted without destruction for about 5.10^5 cycles. Under a pressure of 500 kg/cm^2 , an amplitude of 0.8 mm and a frequency of 112 cycles per minute the films were not destroyed for $1.24.10^5$ cycles. During that time, during the same number of cycles and under the same conditions, unprotected samples were heavily destroyed.

Also tests of thin ($< 0.2 \text{ mm}$) polyamide films were carried out, applied by spraying as a paste "G". The films endured a pressure of 250 kg/cm^2 with an amplitude of 0.524 mm and a frequency of 112 cycles per minute for the duration of $1.8.10^6$ cycles. Destruction of the films even after such prolonged tests did not occur.

(1) The test was carried out by O. N. Moeravkin and A. V. Rabchenkov.

Thus, under such conditions the application of molybdenum disulfide has a positive effect.

The application of molybdenum disulfide in cold rolling of ribbed tubes. A test on the effectiveness of molybdenum disulfide was carried out in cold rolling of ribbed tubes made of aluminum billets with a diameter of 27 mm.

The deformation, i.e., the formation of ribs in the tubes is done by a special instrument, placed against the axis of rotation of the tube, at an angle. The smaller the friction between the instrument and the tube, i.e., the better the conditions of the lubricant, the bigger will be the deformation and the better will be the conditions for the metal to crack.

The effectiveness of the lubricant being applied is determined by maximum diameter of the rolling tube obtained.

In working in a dry form or in lubricant with aviation oil MS-20, a diameter of the tube of over 34 - 35 mm is obtained. In the case of abundant lubricant of the rolls with colloidal graphite MS, a diameter equalling 42 mm is obtained. An analogous diameter is obtained after lubrication of the instrument by a thin layer of G-paste. The film is retained on the surfaces of the rolls for the duration of a few hours at a temperature of 1400 and more.

*И. Я. Альшиц, В. М. Овчинин,
Л. Н. Сентюрихина, Л. Н. Сухкина*

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ДВУСЕРНИСТОГО МОЛИБДЕНА В КАЧЕСТВЕ СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА

До настоящего времени не решен вопрос о смазочных материалах, необходимых для узлов трения, работающих в условиях высоких и низких температур. Особенно затруднено решение этого вопроса для узлов, где не может быть обеспечено жидкостное трение, т. е. в условиях граничной смазки. Согласно литературным данным, для этих условий целесообразно применять материалы, способствующие образованию на поверхностях трения твердой смазочной пленки. Одним из таких материалов является дву-сернистый молибден MoS_2 .

По классификации Кемпбелла, молибденит MoS_2 относится к группе твердых смазочных материалов, имеющих слоистое строение. В эту группу смазок входят также графит, слюда, тальк, нитрид бора, стеарат цинка и др.

Кристаллическая решетка твердых смазок имеет слоистое строение. Атомы в каждом элементарном слое связаны прочными химическими связями, а отдельные слои связаны слабыми молекулярными силами. Это создает легкость скольжения слоев по плоскости спайности AA (рис. 1).

Толщина элементарного слоя MoS_2 равна 6,25 Å. Высокая адгезия MoS_2 к металлам обусловлена прочными молекулярными связями атомов серы с металлом. Строение кристаллической решетки создает важные для смазочных материалов высокие адгезионные и низкие когезионные свойства.

Эффективность применения молибденита как смазочного материала определяется следующими его основными параметрами: его природой, степенью чистоты, дисперсностью и методами его нанесения на поверхности трения.

Применение природного молибденита в качестве смазочного вещества связано с его очисткой от сопутствующих примесей, в основном абразивного характера, и прежде всего от кремнезема.

В нашей работе использовался молибденит Восточно-Коунрадского месторождения, который подвергался очистке механическими (дробление, просеивание) и химическими (растворение примесей) способами. В результате очистки общее содержание примесей было доведено до 1,4—0,6 %.

Диспергирование молибденита производилось при помощи механических истирателей (вибромельница, струйная мельница¹, гомогенизатор Института нефти АН СССР) и ультразвука. Кроме того, использовались методы сухого и мокрого помола.

Диспергирование на вибромельнице позволяло получать продукт широкого фракционного состава, а на струйной мельнице получались продукты более узкого фракционного состава с частицами размером 3—6 мк.

Получение частиц еще более узкого фракционного состава и малого размера весьма затруднительно вследствие их агрегации в процессе диспергирования, что свойственно почти всем твердым веществам. Чем меньше размер зерен, тем больше их склонность к агрегированию.

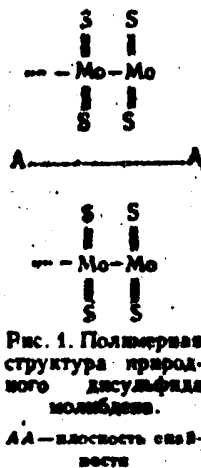
Так как дисульфид необходимо было получить в сухом виде, помол MoS_2 производили в растворителях: спирте, толуоле, дихлорэтаноле, воде и других летучих жидкостях.

Мокрый помол производили в гомогенизаторе, представляющем собой четырехдисковую машину. Гомогенизатор, подобно вибромельнице, обеспечивал получение крупных частиц широкого фракционного состава. Более мелкие частицы (1—6 мк и менее) были получены диспергированием в среде этилового спирта при помощи ультразвука при частоте 20 кГц и интенсивности 7 Вт/см².

При помощи указанных способов измельчения были получены частицы молибденита любой заданной степени дисперсности (например, 1—60 мк, 3—6 мк и менее 1 мк).

Сухие пленки молибденита наносились на металлические поверхности втиранием от руки порошка с частицами размером 1—60 мк, а также окутанием обезжиренных металлических поверхностей в суспензии MoS_2 различной концентрации (0,07—0,20 г/мл) при комнатной температуре. В дальнейшем детали выдерживались в сушильном шкафу в течение 3 час. при постепенном повышении температуры до 360°.

¹ Измельчение проводилось на вибромельнице под руководством Л. А. Фейгина и на струйной мельнице под руководством В. Н. Акулова.



Несмотря на высокие адгезионные свойства MoS_2 пленки, полученные указанным способом, плохо сопротивлялись износу и легко разрушались трущимися деталями.

Одним из способов повышения противозносных свойств этих пленок является применение связующих веществ. Связующие вещества образуют пленку, в которой удерживается дисульфид молибдена, что препятствует удалению его трением с поверхности.

Эти вещества не выполняют смазочных функций; они должны легко наноситься тонким слоем на поверхности трения и образовывать прочно сцепленные с металлом пленки.

В качестве связующих нами были использованы следующие вещества: алкогольный эфир K-11501, меламино-формальдегидные, мочецино-формальдегидные, эпоксидные и поливинил-бутиральные смолы.

Растворенная суспензия из MoS_2 и смолы наносилась тонким слоем на испытываемые поверхности. После испарения растворителя детали помещались в сушильный шкаф и выдерживались там при температуре $120-250^\circ$ в течение 2—3 час в зависимости от характера смолы.

Испытания дисульфидного молибдена на машинах трения и полупромышленных установках. Смазочные свойства дисульфидного молибдена исследовались на машинах трения и стендах, где определялись коэффициент трения, долговечность образующейся смазочной пленки, противозносные свойства и стойкость при высокой температуре. Для испытаний MoS_2 брали в виде порошка, паст и пленок со связующими веществами.

Для сравнения испытывались и импортные препараты MoS_2 , так называемые моликолы и коллоидный графит (в различных видах), который имеет сходство с MoS_2 и используется в качестве смазочного материала.

На машине «МИ» (типа Амслер) были проведены испытания образцов в виде роликов диаметром 40 мм и шириной 10 мм при трении качения с 10% скольжения. В этих опытах производился выбор связующего вещества (смолы), а также определялось влияние чистоты поверхности фосфатирования образцов перед нанесением пленки.

Основными данными испытаний являлись диаграммы момента трения, записанные самопишущим прибором, имевшимся на машине.

Наличие пленки MoS_2 на поверхности роликов во время испытаний определялось по величине момента трения. Когда момент трения возрастал до величин, примерно соответствовавших коэффициенту трения, испытание считалось законченным. Указанная величина $f = 0,8$ соответствует коэффициенту трения чистых несмазанных поверхностей роликов.

Ролики были изготовлены из стали 45, закаленной до твердости HRC = 48—50 (кроме фосфатированных) с чистотой поверхности по VII классу.

Ролики, покрытые пленками, работали в паре с чистыми роликами.

Долговечность пленок, образованных на поверхности роликов порошком MoS_2 и пастами, определялась следующим образом: в течение 30 мин ролики работали с подачей смазки (т. е. пасты или порошка), которая захватывалась нижним роликом из ванночки. При давлении 3260 кг/см^2 (по Герцу) смазка образовывала на поверхности трения пленку MoS_2 . Далее смазка удалялась, и ролики ставились на испытание.

Результаты испытаний пленок, изготовленных на основе моликолы и с пятью различными связующими веществами, представлены в табл. 1, где по оси ординат отложено время работы пленок. Испытания были проведены при нагрузке по Герцу 3260 кг/см^2 .

Все смолы имели коэффициент трения в пределах 0,07—0,09. Пленка, образованная алкогольным эфиром, показала наибольшее время работы, в среднем 17 час, в то время как пленки с остальными связующими работали 3,5—9 час.

Таблица 1

Влияние различных связующих веществ (смол) на долговечность работы твердой смазочной пленки (средние данные)

Связующие (смолы)	Меламино-формальдегидная	Мочевинно-формальдегидная	Эпоксидная	Поливинилбутиральная	Алкогольный эфир
Долговечность пленки, час	3,5	5,5	9,5	8,75	17,5

Износ шаров, покрытых пленками MoS_2 с меламино-формальдегидной, мочевинно-формальдегидной и другими смолами на четырехшариковом аппарате¹, был в 2,5—3 раза меньше, чем при применении лучшей гипсовидной смазки ЦИАТИМ-208.

Износостойкость слоев MoS_2 зависит от их толщины: тонкие слои (5—7 мк), образованные при помощи меламино-формальдегидной смолы, выдерживают нагрузку в 5—12 раз меньшую, чем такие же более толстые слои (20—30 мк).

Нами было проведено определение влияния чистоты рабочей поверхности роликов на продолжительность работы пленки. Эти поверхности были обработаны по V, VII и XI классам чистоты, т. е. величина их шероховатости H_{cp} изменялась в пределах 6,4—0,1 мк. Затем на поверхности были нанесены пленки молибата «Z» с алкогальным эфиром K-11501, т. е. со связующим, создающим наибольшую длительность ее работы. Наилучший результат получился у роликов с чистой поверхностью V класса, т. е. высотой неровностей $H_{cp} = 6,4$ мк, покрытых пленками MoS_2 с частицами размером 1—60 мк.

Фосфатирование стали немного увеличивает долговечность пленки (с 4 час. до 5 ч. 30 м).

Опыты, проведенные с пленками из MoS_2 и графита, образованными на поверхности трения, подтвердили данные иностранных исследователей о преимуществах MoS_2 перед графитом в условиях больших удельных давлений (см. табл. 2).

Таблица 2

Долговечность (в час) работы пленок, образованных смазками в виде порошков, в зависимости от удельного давления (средние данные)

Порошок	Удельное давление по Гурзу, кг/см²	
	3260	800
Моликат «Z»	8	8,75
Коллоидный графит С-1	22,5	1/80—1/20

При давлении 3260 кг/см² графитовая смазка работает лучше, чем MoS_2 , как по коэффициенту трения, так и по продолжительности работы пленки (для графита $f \approx 0,06$, а для моликата «Z» $f \approx 0,14$;

¹ Испытания проведены под руководством В. А. Липцова.

средняя продолжительность работы графитной пленки больше 20 час. а пленки с молибдотом «Z» около 6 час). При давлении 8600 кг/см² картина меняется: коэффициент трения при смазке молибдотом «Z» снижается до 0,04 и пленка держится в течение 3—4 час, а при смазке графитом пленка не выдерживает нескольких минут и коэффициент трения от 0,12 быстро возрастает до 0,37.

Испытания паст проводились при давлении 8600 кг/см², причем коэффициент трения всех паст был равен 0,06—0,09.

Таблица 3
Долговечность работы пленок, образованных различными пастами (средние данные)

Наименование пасты	Коллоидный графит МС	Молибдет М-77	Молибдет G	ЦИАТИМ-221	ВНИИ НП-226	ЦИАТИМ-221 + 10% MoS ₂
Долговечность пленки, час	0,17—0,25	1	0,75	0	2	0,5

Из табл. 3 видно, что испытанная для сравнения смазка ЦИАТИМ-221 не оставляла на металлических поверхностях пленки, способной работать при давлении 8600 кг/см², а пленка коллоидального графита МС работала 10—15 мин. Добавление 10% MoS₂ в смазку ЦИАТИМ-221 создаю пленку, работавшую в течение 20—40 мин. Молибдоты М-77 и G работали до 2 час, а смазка ВНИИ НП-226 на основе MoS₂ и силиконовой жидкости работала до 4 час. Поверхности трения при работе со смазками, содержащими MoS₂ и графит, имели серую гладкую поверхность.

Таким образом, было установлено, что дисульфид молибдена обладает высокой несущей способностью, однако продолжительность работы пленки невелика и поэтому требуется постоянное ее возобновление. Пленка восстанавливается благодаря избытку смазки в узлах трения.

Испытания на машине «МИ» при малой подаче смазки, содержащей MoS₂, выявили возможность длительной работы пленки при высоких давлениях. Эти данные подтверждаются также результатами стендовых испытаний. Испытания проводились на стенде с опорным шариковым подшипником № 8106р при температуре 400° (n = 1000 об/мин, нагрузка P_{ос} = 1200 кг). Продолжительность нормальной работы подшипника, на беговые дорожки которого была нанесена пленка дисульфида молибдена, не превышала 30—60 час. Продолжительность работы такого же подшипника со смазкой пастой на основе дисульфида молибдена и полисилоксановой жидкости в этих же условиях составляла 50—70 час. Комбинированное использование пленки и пасты позволяло увеличивать срок службы смазки в 2—3 раза.

Эффективность дисульфидного молибдена как защитного средства от фреттинг-коррозии¹. Исследование состояло в нахождении защиты против фреттинг-коррозии для плоских контактирующих поверхностей при амплитуде колебаний до 1 мм и удельном давлении до 500 кг/см². Испытанию подверглись фосфатированные и нефосфатированные поверхности, причем площадки трения имели форму кольца.

Без смазки фосфатные пленки разрушались в первые минуты. Испытание таких пленок, покрытых молибденовой пастой «G», было проведено при давлении 250 кг/см², амплитуде 0,524 мм и частоте 112 циклов в мин. Пленки выдержали без разрушения около 5·10⁶ циклов. При давлении 500 кг/см², амплитуде 0,8 мм и частоте 112 циклов в мин. пленки не разрушились в течение 1,24·10⁶ циклов. В то же время за то же количество циклов и в тех же условиях незащищенные образцы сильно разрушились.

¹ Исследование проводили О. Ш. Мурашкин и А. В. Рабчинский.

Были проведены также испытания тонких ($< 0,8$ мм) полнотелых пленок, нанесенных методом распыления и смазывавшихся пастой «Г». Пленки выдерживали давление 250 кг/см^2 при амплитуде $0,524$ мм в частоте 112 циклов в мин. в течение $1,8 \cdot 10^6$ циклов. Разрушения пленок даже и после таких длительных испытаний не происходили.

Таким образом, применение дисульфидного молибдена дает в этих случаях положительный эффект.

*Применение дисульфидного молибдена при холодной прокатке ребристых трубок*¹. Было проведено исследование эффективности применения дисульфидного молибдена при холодной прокатке ребристых трубок из алюминиевых заготовок диаметром 27 мм.

Деформация, т. е. образование ребер у трубок, производится специальным инструментом, подводимым под углом к оси вращения трубки. Чем меньше трение между инструментом и трубкой, т. е. чем лучше условия смазки, тем больше будет деформация и лучше будут условия для затекания металла в щель.

Эффективность применяемой смазки определялась получаемым минимальным диаметром прокатываемой трубки.

При работе всухую и смазке авиационным маслом МС-20 диаметр трубки получался не выше $34-35$ мм. При обильной смазке валков каменноугольным графитом МС диаметр получался равным 42 мм. Аналогичный диаметр получался после смазки инструмента тонким слоем пасты «Г». Пленка дисульфидного молибдена на поверхностях валков в течение нескольких часов работы при температуре прокатки 140° и выше.